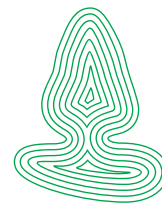


Viten fra Skog og landskap
Skogens ressurser

01/08



skog+
landskap

TREVIRKE – BRENNVERDIER OG ENERGITETHET

Helmer Belbo og Simen Gjølshø

Viten fra Skog og landskap

«Viten fra Skog og landskap» er sammenstilt og bearbeidet informasjon, innsikt og kunnskap om skogen og landskapet i Norge. Serien er åpen for relevante manuskripter, også fra forfattere som ikke er ansatt ved Norsk institutt for skog og landskap.

Utgiver:

Norsk institutt for skog og landskap

Redaktør:

Camilla Baumann

Dato:

Oktober 2008

Trykk:

07 Gruppen AS

Opplag:

1000

Bestilling:

Norsk institutt for skog og landskap

Postboks 115, 1431 Ås

Telefon: 64 94 80 00

Telefaks: 64 94 80 01

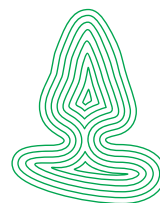
www.skogoglandskap.no

ISBN 972-82-311-0062-1

ISSN 1890-159x

Omslagsfoto:

Kranmontert flis-skuffe for lessing og lossing av brenselflis. Foto: Helmer Belbo.



skog+
landskap

Viten fra Skog og landskap – 1/08
Skogens ressurser

TREVIRKE – BRENNVERDIER OG ENERGITETHET

Helmer Belbo og Simen Gjølshø

FORORD

Denne rapporten er utarbeidet i prosjektet «Skogsbrensel fra ungskog og sluttavirkning» ved Norsk institutt for skog og landskap. Vi får stadig spørsmål om brennverdier og energitetthet på ulike typer trebrensel. Rapporten er ment som et svar på slike henvendelser, og som «hjelp til selvhjelp» for aktører som omsetter trebrensel.

Ås 01.10.2008.

Helmer Belbo og Simen Gjølshø

INNHold

Forord	2
Sammendrag	4
1. Innledning	5
2. Hva er det som brenner?	5
3. Øvre, nedre og effektiv brennverdi – tre viktige definisjoner	6
4. Energitetthet	7
Krymping	9
Fastmasseprosent	9
Bulk tetthet	10
5. Oppsummering	11
Vedlegg 1, symboler og forkortelser	12
Vedlegg 2, formelverk	13
Litteraturliste	15

SAMMENDRAG

Bruken av bioenergi kommer til å øke betraktelig i årene som kommer. Politisk ligger det målsettinger om en dobling av bruken i løpet av 12 år, og utbyggingstakten i fjernvarmesektoren er nær femdoblet siste fem år. Mange aktører står derfor på første trinn i læringskurven og skal vurdere ulike typer brensel, samt utforme en effektiv forsyningskjede for dette brenselet.

Å ha en viss kontroll med kvalitet og kvantitet på brenselet er en forutsetning for å klare dette. En kubikk flis kan være så mangt. Grove målemetoder kan gi svært grove estimat på energimengden man har for hånden. Ulike definisjoner på brennverdi er av og til opphav til forvirring om energimengden i brenselet og virkningsgraden i ulike forbrenningsanlegg.

Fortsatt omsettes trebrensel oftest etter volum. Ved omsettes i favner, brenselflis omsettes ofte i løskubikk-meter, og stammevirke i fastkubikk-meter. Men det som avgjør energimengden i en leveranse er i all hovedsak vekt og vanninnhold, ikke volum. Derfor kan volumbasert måling av brenselet gi ganske store feil når en skal beregne energimengden i en brenselleveranse. Dette er særlig kritisk når ved og flis omsettes i løskubikk-meter.

Tommelfingerregler for energitetthet i ulike brenselstypor kan benyttes til å dimensjonere brenselager og forsyningskjeder, men blir litt unøyaktige for prising av den enkelte leveranse. Jo bedre kontroll man har med vekt og fuktighet, jo lettere blir det å bestemme energimengde, brenselets anvendbarhet og verdi.

Den felleseuropeiske standardiseringskomiteen (Comité Européen de Normalisation CEN) arbeider med å ta frem et felles standardverk for alle typer faste biobrensler. Standardene omfatter kravspesifikasjoner for alle aktuelle brenseltyper, samt metoder for prøvetaking, kvalitetssikring og dokumentasjon.

Utstrakt bruk av de nye standardene vil sikre bedre og enklere kommunikasjon mellom alle aktører i brenselkjeden. Man får felles terminologi og måleenheter, felles målemetoder og sammenlignbare kravspesifikasjoner. Dette vil også gjøre det enklere å sammenligne ulike produksjonsmetoder, logistikk-løsninger og anleggstyper i biobrenselkjeden.

Nøkkelord: Trebrensel, bioenergi, energitetthet, brennverdi

1. INNLEDNING

Bruken av trebrensel vil øke betydelig i årene som kommer. Regjeringen har satt seg som mål at bruken av bioenergi skal økes med 14 TWh innen år 2020 (Lahnstein 2007), hvilket er en dobling i forhold til dagens bruk. Utbyggingstakten i fjernvarmesektoren er nær femdoblet på fem år (ENOVA 2008). Dette vil føre til en sterk økning i bruk av trevirke som brensel. Biproduktene fra sagbruk og treforedlingsindustri vil øke i verdi, i tillegg blir det aktuelt å hente ut hogstavfall, stubber og annet virke av lav kvalitet, for bruk i fyringsanlegg. For hver TWh bioenergi vil det omsettes trebrensel med en verdi på anslagsvis 150–200 millioner kroner. For å kunne sette riktig verdi på brenselet er det avgjørende å kunne bestemme energiinnholdet i leveransene.

Handel med trebrensel, først og fremst i form av ved, har lange tradisjoner her i landet. Allerede i år 1683 ble det etablert en «standard» for hvordan veden skulle måles, ved at havnefogden i større byer skulle ansette en «favnssetter» (Imsen & Winge 1999). Favnssetteren hadde som oppgave å måle opp brennved som førtes til byen. Favnssetterens armlengde og øyemål ble dermed måleenheten for ved. Fortsatt omsettes trebrensel oftest etter volum. Men det som avgjør energimengden i en leveranse er i all hovedsak vekt og vanninnhold, ikke volum. Derfor kan volumbasert måling av brenselet gi ganske store feil når en skal beregne energimengden i en brenselleveranse. En kubikkmeter brenselflis kan inneholde alt fra 400 til 1200 kWh. Selv om en nøyaktig kjenner fuktinnholdet i brenselflisen kan energitettheten variere med 20–50 prosent på grunn av faktorer som egenvekt, krymping og fastmasseprosent. Grove målemetoder kan derfor gi unøyaktige estimat på energimengden man har for hånden.

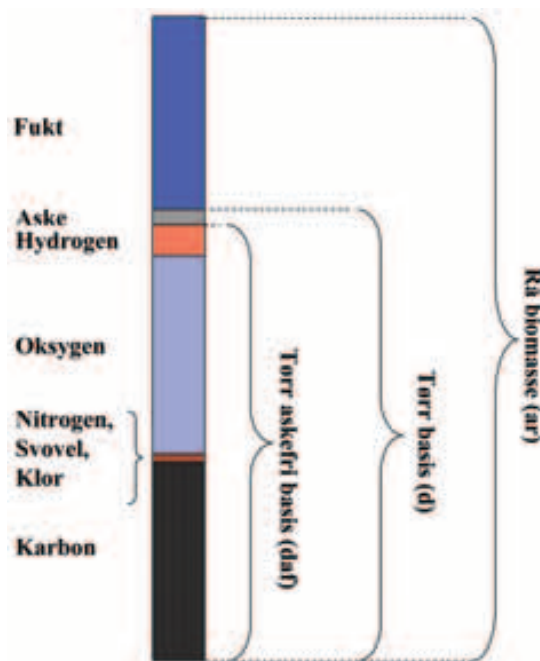
Brennverdi og energitetthet er to av mange egenskaper som avgjør hvor mye brenselet er verdt og hvor godt egnet det er i ulike forbrenningsanlegg. Andre viktige brenselegenskaper, som ikke vil bli beskrevet nærmere her, er askesmelteegenskaper, partikkelstørrelse, mugginnhold og muggdannelse, samt innhold av klorider og alkalimetaller. Nye brenselstortiment, som hogstavfall, stubber og hel-trevirke gir større variasjoner i brenselegenskaper enn rent stammevirke og stiller derfor større krav til kunnskap om brenselet og forbrenningsanlegget.

Den felleseuropeiske standardiseringskomiteen (CEN) arbeider med å ta frem et felles standardverk

for alle typer faste biobrensler. Standardene omfatter kravspesifikasjoner for alle aktuelle brenseltyper, samt metoder for prøvetaking, kvalitetssikring og dokumentasjon. Førsteutkastet er ferdig for mange av standardene, og ligger ute som såkalte tekniske spesifikasjoner. Disse kan kjøpes av Standard Norge.

2. HVA ER DET SOM BRENNER?

Trevirke består i all hovedsak av grunnstoffene karbon, hydrogen og oksygen pluss mineralstoffer (aske) og små mengder med nitrogen, svovel og klor (CEN/TC-335 2005a). Mengden av de ulike grunnstoffer varierer fra treslag til treslag, og mellom ulike deler av treet.



Figur 1. Figuren illustrerer innholdet av ulike grunnstoffer i trevirke, samt hva som menes med benevnelsene tørr askefri basis, tørr basis og rå biomasse.

De forskjellige grunnstoffer har ulike brennverdier. Reaksjonsligningene ved fullstendig forbrenning av karbon og hydrogen ser slik ut (Sandberg 1992):

Hydrogen: $1 \text{ kg H}_2 + 8 \text{ kg O}_2 = 9 \text{ kg H}_2\text{O} + 33,5 \text{ kWh}$
 Karbon: $1 \text{ kg C} + 2,67 \text{ kg O}_2 = 3,67 \text{ kg CO}_2 + 9,11 \text{ kWh}$

Tabell 1. Tabellen viser karbon- og hydrogeninnholdet i stammeved (Nurmi 2000)

Treslag	Karbon (%)	Hydrogen (%)
Furu (P. Sylvestris)	52,4	5,9
Gran (P. Abies)	52,3	6,1
Bjørk (B. Pendula)	47,4	5,2

Hvis vi sammenligner nåletrær og lauvtrær, ser vi i tabell 1 at det er et noe høyere hydrogen- og karboninnhold hos nåletrærne enn hos lauvtrærne. Årsaken til forskjellene er at nåletrærne har høyere lignin- og harpiksinhold enn lauvtrær. Nåletrær har derfor generelt høyere brennverdi enn lauvtrær, men forskjellen er ikke særlig stor (Hakkila 1989). Hos gran er lignininnholdet minst i stammeveden og høyest i kvister og tennarved, som dermed har en høyere brennverdi enn vanlig stammeved (Hakkila 1989). Krokete og kvistrike graner har derfor høyere brennverdi enn ei rettvokst og fin gran.

3. ØVRE BRENNVERDI, NEDRE BRENNVERDI OG EFFEKTIV BRENNVERDI – TRE VIKTIGE DEFINISJONER

Det er tre forskjellige måter å angi brenselets energiginnhold på. Ved forbrenning av hydrogenholdig brensel (som biobrensel, olje og naturgass) dannes det vanndamp fra reaksjonen med hydrogen og oksygen. Ved brenning av fuktig brensel vil det gå med energi til å fordampe vannet i brenselet. Hvis vanndamp fra forbrenning og tørking av brenselet går ukondensert ut i skorsteinen er fordampningsvarmen til dampen tapt. Tapt fordampningsvarme er opprinnelsen til de tre forskjellige brennverdibegrepene.¹

Øvre brennverdi – $q_{v,gr,daf}$ angir den energimengde som utvikles ved fullstendig forbrenning av brenselet og hvor all vanndamp, både den som er dannet under forbrenning og den som kommer fra vann i

brenselet, kondenseres. Øvre brennverdi kan bestemmes enten ut fra brenselets kjemiske sammensetning eller måles ved hjelp av et bombekalorimeter (Strömberg 2005). Øvre brennverdi angir dermed den reelle energimengden som omdannes til varme ved fullstendig forbrenning av biomassen. Større moderne varmeverk og varmekraftverk har gjerne røykgasskondensering, og dermed blir øvre brennverdi den teoretisk maksimale energimengden de kan hente ut av brenselet. Øvre brennverdi for trebrensel er ca 5,7 kWh/kg tørrstoff (CEN/TC-335 2005a).

Nedre brennverdi – $q_{p,net,daf}$ Nedre brennverdi er øvre brennverdi minus fordampningsvarme til damp dannet under forbrenningen, det vil si vann som er dannet i reaksjonen mellom hydrogen og oksygen. Nedre brennverdi angis i CEN-standarden på tørr askefri basis. Forskjellen mellom øvre og nedre brennverdi avhenger av hydrogeninnholdet i brenselet. For trevirke som inneholder 6 prosent hydrogen vil nedre brennverdi være 0,36 kWh / kg tørrstoff lavere en øvre brennverdi (Richardson *et al.* 2002). Nedre brennverdi for trebrensel er ca 5,3 kWh / kg tørrstoff.

Effektiv brennverdi – $q_{p,net,ar}$

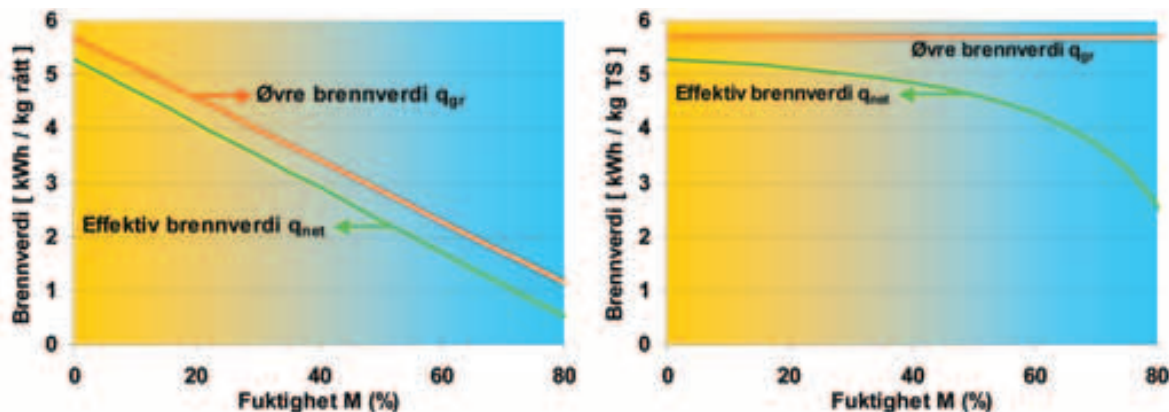
Effektiv brennverdi er definert som nedre brennverdi ($q_{p,net,daf}$) minus fordampningsvarmen som behøves for å tørke brenselet til 0 prosent fukt, og justert for askeinnholdet i brenselet. For hvert kg med vann som skal fordampes fra en temperatur på 25C kreves 0,679 kWh energi til fordampingen (CEN/TC-335 2005b).

Rent trevirke inneholder 0,2–0,5 prosent aske, mens bark inneholder mer aske, typisk 4–5 prosent (CEN/TC-335 2005a). Asken domineres av grunnstoffene kalsium, kalium, silisium, magnesium, mangan, aluminium og jern som ikke er brennbare og derfor blir igjen i asken (Strömberg 2005). Forurensninger som sand, sandstøv osv vil øke askemengden ytterligere. Effektiv brennverdi kan oppgis pr kg råvekt eller per kg tørrstoff.

Energimengden i ved oppgis vanligvis som effektiv brennverdi. Derfor kan man av og til komme over anlegg med røykgasskondensering hvor det hevdes at anlegget har en virkningsgrad på over 100 prosent

Figuren under viser øvre brennverdi og effektiv brennverdi i trevirke ved forskjellig fuktighet, hvor nedre brennverdi er satt til 5,3 kWh/kg og øvre brennverdi er satt til 5,7 kWh/kg.

¹ Formelverket for å beregne de ulike brennverdiene ved forskjellig fuktighet og askeinnhold finnes i vedlegg 2.



Figur 2. Figuren viser øvre brennverdi (q_{gr}) og effektiv brennverdi (q_{net}) målt per kg total vekt og per kg tørrstoff ved forskjellige fuktigheter i brenselet.

Fuktigheten i brenselet kan bestemmes på flere måter. Referansemotoden baserer seg på å tørke biomassen ved 105 C inntil vekten forblir konstant. Metoden er godt definert i CEN-standarden CEN/TS 14774-1 (CEN/TC-335 2004). Alternative metoder for øyeblikkelig bestemmelse av fuktinnholdet finnes, og baserer seg hovedsakelig på at vedens elektromagnetiske egenskaper endres ved ulike fuktigheter.

For praktiske formål er det enten øvre brennverdi eller effektiv brennverdi som er av interesse.

Energitettheten gitt ved *øvre brennverdi* påvirkes ikke av fuktinnholdet i veden, da energi som går med til å fordampe vannet gjenvinnes når vannet kondenserer. Derimot vil energitettheten gitt ved *effektiv brennverdi* påvirkes av fuktinnholdet i veden.

4. ENERGITETTHET

Eik og bjørkeved har rang som bra ved med høy brennverdi sammenlignet med for eksempel gran og ospeved. Dette skyldes sammenligning per volumenheter. Saken er at eik og bjørk har en vesentlig høyere energitetthet enn lette treslag som gran og osp, og dette skyldes forskjellig basisdensitet. Basisdensitet er definert som tørrvekt på rått volum, og benevnes kg/m^3 . Basisdensiteten varierer betydelig mellom ulike treslag, men kan også variere ganske mye innen samme treslag og mellom ulike tredeler i samme tre (se tabell 2). Senvokst gran har for eksempel alltid en høyere basisdensitet en hurtigvokst gran (Sandland *et al.* 2002).

Energitettheten til brenselet avgjør dimensjonering av forsyningskjeden fra stubbe til brennkammer. Det er to måter å bestemme energitettheten på; enten med utgangspunkt i brenselets bulkdensitet og fuktighet eller med utgangspunkt i rådensitet eller basisdensitet, fuktinnhold og fastmasseprosenten. På grunn av tradisjonene fra favnsetteren blir fortsatt den siste metoden brukt mest.

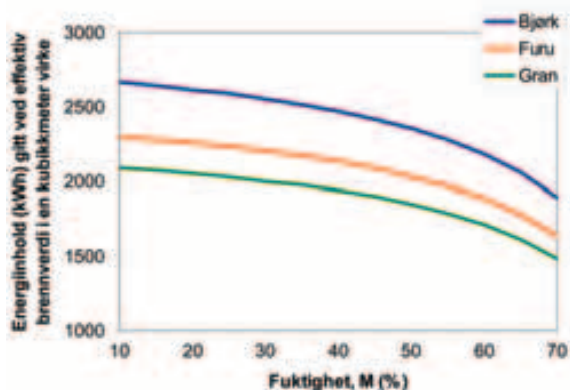
Også energitettheten kan angis ved øvre brennverdi, nedre brennverdi eller effektiv brennverdi.

Tabell 2. Nedre brennverdi, basisdensitet og naturlig askeinnhold for ulike treslag og tredeler (Alakangas 2005; CEN/TC-335 2005a; Nurmi 1993; Sandland et al. 2002).

Treslag	Tredeler	Nedre brennverdi Q_{net} (tørr eller askefri basis) [kWh / kg]	Basisdensitet ρ_d [kg / fm ³]	Askeinnhold A [vekt- % av tørrstoff]
	Cellulose	4,8–5,1		
	Lignin	7,1		
	Harpiks, ekstraktiver	9,9–10,6		
Bartre	Ved	5,33 ± 0,14 (daf) *		0,3 ± 0,1 *
	Bark	5,55 ± 0,28 (daf) *		4 ± 2 *
Lauvtre	Ved	5,27 ± 0,17 (daf) *		0,3 ± 0,1 *
	Bark	5,55 ± 0,28 (daf) *		4 ± 2 *
FURU	Ved	5,36 (d) ****	430 ± 50**	0,3 ± 0,1 *
	Bark	5,42 (d) ****	300***	4 ± 2 *
	Hele stammen	5,36 (d) ****		
	Greiner	5,66 (d) ****	450***	
	Nåler	5,83 (d) ****		
	Hele treet	5,42 (d) ****	385***	
	Stubbe	5,84 (d) ****	450***	
GRAN	Ved	5,28 (d) ****	390 ± 50 **	0,3 ± 0,1 *
	Bark	5,47 (d) ****	340***	4 ± 2 *
	Hele stammen	5,28 (d) ****		
	Greiner	5,49 (d) ****	610***	
	Nåler	5,33 (d) ****		
	Hele treet	5,36 (d) ****	400***	
	Stubbe	5,36 (d) ****	410***	
BJØRK	Ved	5,17 (d) ****	505 ± 20 **	0,3 ± 0,1 *
	Bark	6,31 (d) ****	550***	4 ± 2 *
	Hele stammen	5,33 (d) ****		
	Grener	5,69 (d) ****	530***	
	Lauv	5,50 (d) ****		
	Hele treet	5,36 (d) ****	475***	
	Stubbe	5,19 (d) ****	510***	
Foredlet brensel (beste kvalitetsklasse)				
	Briketter		>1000*	<0,7*
	Trepellets		>1100***	<0,7*

* CEN/TC 335 2005a ** Sandland, Vadla et al. 2002 *** Alakangas 2005 **** Nurmi 1993

Sammenhengen mellom fuktighet og effektiv brennverdi per fastkubikkmeter virke er vist i figur 3. Utgangspunktet er basisdensitet på 400 kg / fm³ for gran, 440 kg / fm³ for furu og 510 kg / fm² for bjørk. Hvis en tar hensyn til krymping vil energitettheten øke ved synkende fuktighet i forhold til hva figuren viser.



Figur 3. Figuren viser energiinnholdet gitt ved effektiv brennverdi pr fastkubikmeter virke av forskjellige treslag og ved forskjellige fuktigheter. Figuren tar ikke hensyn til krymping ved tørking.

Krymping

Ved tørking av ved vil volumet krympe. Volumkrympingen øker tilnærmet lineært fra rå til tørr tilstand, og med stigende basisdensitet. Den totale volumkrympingen fra rått til helt tørt er i gjennomsnitt (Hamilton 1992):

10–15 prosent for gran og furu

13–20 prosent for bjørk

7–14 prosent for osp

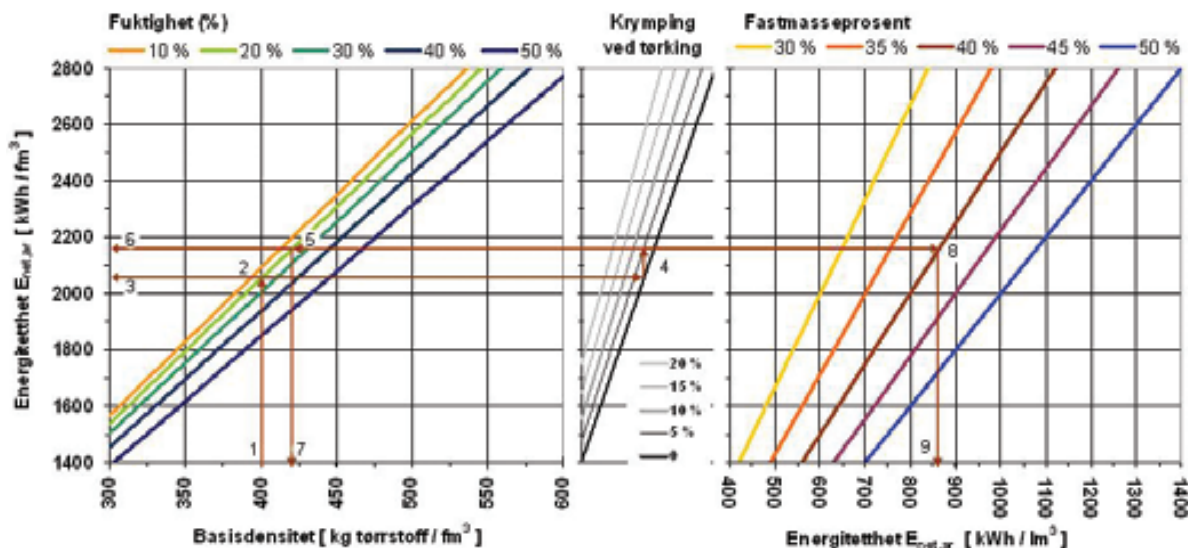
15–22 prosent for bøk og eik

Fastmasseprosent

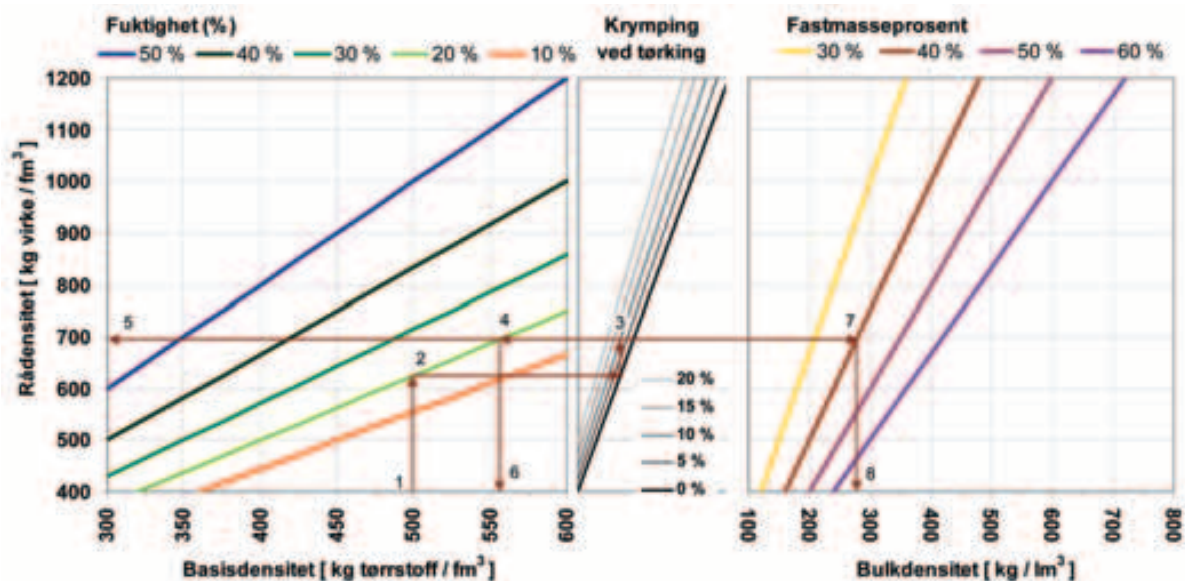
Fastmasseprosent benyttes for å beskrive forholdet mellom fastvolum og løsvolum. Tresflis har typisk en fastmasseprosent på omkring 37–45 prosent, hvor 40 prosent gjerne blir brukt som tommelfingerregel (Alakangas 2005). I en stabel med ved kan fastmasseprosenten være omkring 50–60 prosent. Fastmasseprosenten og basisdensiteten har sammen med fuktighet avgjørende betydning på energitettheten i et gitt volum av biomasse.

Om man vet nøyaktig basisdensitet, fuktighet, hvor mye veden krymper og fastmasseprosent på brenselet vil diagrammet i figur 4 gi en rimelig korrekt energitetthet for trevirke og tresflis. Diagrammet tar utgangspunkt i at nedre brennverdi er 5,3 kWh/kg tørrstoff, avvik fra denne brennverdien vil gi tilsvarende avvikende verdier videre i diagrammet.

Legg merke til hvor mye det slår ut om man justerer basisdensitet, fuktighet, krymping og fastmasseprosent med noen få prosenter. Om fastmasseprosenten i dette tilfellet øker fra 40 prosent til 45 prosent øker energitettheten med 100 kWh / lm^3 eller 12 prosent.



Figur 4. Nomogram som viser sammenhengen mellom basisdensitet og energitetthet ved ulik fuktighet, krymping og fastmasseprosent. Eksempel: Stammeverke av gran kan ha en basisdensitet på ca 400 kg/fm^3 (1). Ved 20 % fukt (2) har denne veden en energitetthet på 2052 kWh/fm^3 ukrympet volum (3). Veden krymper ved tørking, granved krymper 10–15 % fra virke er rått (50 % fukt) til virket er helt tørt (0 % fukt). Her antas 5 % krymping når veden holder 20 % fuktighet (4). På grunn av krympingen vil veden få en høyere basisdensitet og en høyere energitetthet, noe man finner om man går tilbake til linjen for 20 % fuktighet (5). Ny energitetthet blir dermed 2160 kWh/fm^3 (6) og ny basisdensitet blir 421 $\text{kg TS}/\text{fm}^3$ (7). Ved en fastmasseprosent på 40 % (8) vil energitettheten i flisa ligge på 864 kWh/lm^3 (9).



Figur 5. Nomogram som viser sammenhengen mellom basisdensitet, rådensitet og bulkdensitet ved ulike fuktighet, krymping og fastmasseprosent. Eksempel: Bjørkeved har typisk en basisdensitet på ca 500 kg / fm³(1). Ved 50 % fukt har veden en rådensitet på 1000 kg / fm³. Ved tørking til 20 % fukt (2) kan veden ha krympet nesten 10 % (3). Ved å ta hensyn til krympingen (3 og 4) finner man at rådensiteten ved 20 % fuktighet vil ligge på 694 kg / fm³ (5), og basisdensiteten på 556 kg / fm³ (6). Ved en fastmasseprosent på 40 (7) vil denne bjørkeflisa ha en bulkdensitet på 278 kg / lm³ (8).

Fuktigheten og fastmasseprosenten kan også ha stor betydning for hvorvidt en får utnyttet kapasiteten i logistikksystemet. En typisk «norsk» flisbil med henger har rom for 115 løskubikkmeter (lm³) flis, og lastekapasitet på 30–32 tonn. Dermed vil vekt være begrensende faktor ved en bulkdensitet høyere en 270 kg/lm³. I eksempelet over (figur 5) hvor bjørkeflisa har en rådensitet på 700 kg og fastmasseprosent på 40 prosent vil derfor lastekapasiteten være begrensende faktor. Ved ytterligere tørking av flisa ville en kanskje kunne fylle hele lasterommet med flis.

Enhetskostnadene i logistikken avhenger blant annet av hvor stor energimengde man får med i hver leveranse. Hvis bulkdensiteten er så høy at bilens lastevolum ikke fullt kan utnyttes, kan det lønne seg å tørke materialet før transport. Hvis bulkdensiteten er så lav at bilens lastevekt ikke kan utnyttes, kan det lønne seg å komprimere virke eller øke lastevolumet.

Fastmasseprosent i flis er svært vanskelig å måle direkte, og den varierer blant annet med ulike treslag, fuktighet i veden, ulike flishoggere og temperatur ved flishogging. Fastmasseprosenten vil også påvirkes av logistikkjeden. Flis som blir blåst inn i lager eller containere vil ha en høyere fastmasseprosent enn om flisen tippes fra bil, lasteskuffe eller transportband (Alakangas 2005). Om flisen «ristes

sammen» kan flisvolumet krympe med inntil 20 prosent (McDonald *et al.* 1995). Derfor vil volumet som regel krympe og fastmasseprosenten gå opp under transport.

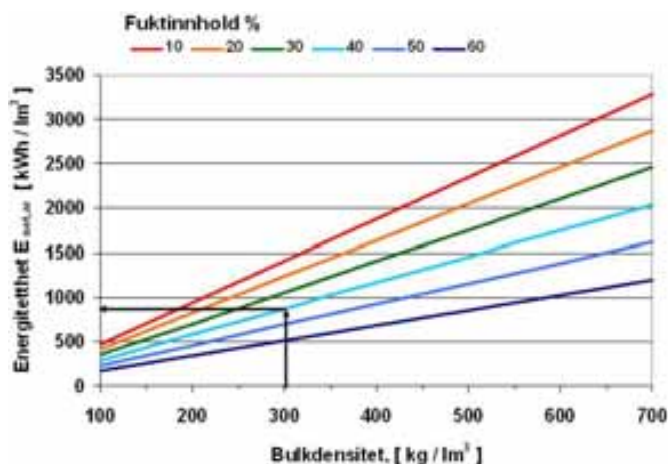
Tabell 3. Typisk fastmasseprosent for ulike sortimenter (Alakangas 2005)

Sortiment	Typisk fastmasseprosent
Ved, stablet	0,62 – 0,67
Furu heltreflis:	0,41 – 0,5
Furu stammefflis:	0,42 – 0,5
Gran heltreflis:	0,39 – 0,44
Bjørk heltreflis:	0,40 – 0,50
Hogstavfall fliset grønn;	0,36 – 0,38
Hogstavfall fliset brun:	0,39 – 0,41
Sagflis:	0,28 – 0,38
Høvelspon:	0,19 – 0,28
Revet bark	0,3 – 0,4

Bulkdensitet

En annen måte å bestemme energitettheten på er utelukkende å basere seg på bulkdensiteten, som kan måles direkte ved hjelp av vekt og volum-mål, og fuktigheten i brenselet.

Figuren under viser sammenhengen mellom bulkdensitet, fuktinnhold og energitetthet.



Sortiment	Typisk bulkdensitet kg / m ³	Typisk fuktighet %
Høvelspon	80-120	5-15
Sagflis	250-350	45-55
Skogsflis	200-400	40-60
Trepellets	600-690	5,2-10

Figur 6. Figuren viser sammenhengen mellom bulktetthet og energitetthet ved ulike fuktigheter. Tabellen med brenseldata er hentet fra (Alakangas 2005).

Også i denne figuren er det tatt utgangspunkt i en nedre brennverdi på 5,3 kWh pr kg tørrstoff.

Sikreste måte å bestemme bulktettheten for et lass brensel er å måle vekt og volum på hele lasset. Nest beste måte er å måle bulktettheten ved hjelp av en beholder med kjent volum og en vekt. I CEN-standarden CEN/TS 15103 er det en prosedyre for dette (CEN/TC-335 2006). I henhold til denne standarden skal man for grov flis (flislengde 12–100 mm) benytte en sylindrisk beholder med volum på 50 liter, hvor høyde – diameter – forholdet skal ligge mellom 1,25 og 1,5. For finere flis og pellets vil det være tilstrekkelig med en 5 liters sylindrisk beholder, med samme høyde – diameter – forhold. Flisen skal ristes sammen ved at beholderen slippes ned tre ganger fra 15 cm høyde, med landing på hardt underlag. Fra vekt og volum vil en nå kunne gi et estimat på bulktettheten.

5. OPPSUMMERING

Eksemplene presentert her illustrerer hvor mye brennverdien og energitettheten varierer for ulike typer trebrensel. Den sikreste og enkleste måten å bestemme energimengden i biobrenselleveranser er å gå ut fra vekt og fuktighet i brenselet. Tommelfingerregler for energitetthet i ulike brenselssortiment kan benyttes til å dimensjonere brenselager og forsyningskjeder, men blir unøyaktige for prising av den enkelte leveranse. Jo bedre kontroll man har med vekt og fuktighet, jo lettere blir det å bestemme energimengde, brenselets anvendbarhet og verdi.

Utstrakt bruk av de nye standardene vil sikre bedre og enklere kommunikasjon mellom alle aktører i brenselkjeden. Man får felles terminologi og måleenheter, felles målemetoder og sammenlignbare kravspesifikasjoner. Dette gir også større muligheter for å sammenligne ulike produksjonsmetoder og logistikk-løsninger i biobrenselkjeden.

VEDLEGG 1, DEFINISJONER, SYMBOLER OG FORKORTELSER

Definisjoner

Basisdensitet	Tørrstoffinnhold (i kg) per fastkubikkmeter virke i rå ukrympet tilstand
Bulkdensitet	Råvekt (i kg) per løskubikkmeter
Fastkubikkmeter	Volum av fast ved
Fastmasseprosent	Prosentandel fast ved per løskubikkmeter
Løskubikkmeter	Brutto volum av ved og luft i en beholder, en stabel eller en haug
Rådensitet	Råvekt (i kg) per fastkubikkmeter
Tørrstoff	Tørt materiale med 0% fuktighet

Symboler og forkortelser i henhold til Europeisk standard (CEN/TC-335 2005a).

<i>d</i>	tørr (kun tørrstoff)
<i>daf</i>	tørr, askefri
<i>ar</i>	som mottatt (med aske og fuktighet)
<i>A</i>	Askeinnhold, vekt- % av tørrstoff
ρ	densitet, tetthet (kg / m ³)
BD	Bulkdensitet (kg / lm ³)
DE	Rådensitet (kg / fm ³)
<i>E_{ar}</i>	Energitetthet som mottatt, kWh / m ³ løs, stablet eller fast
<i>M</i>	Fuktinnhold, vekt- % vann av rå masse
<i>q_{v, gr, daf}</i>	Øvre brennverdi, kalorimetrisk brennverdi (kWh / kg eller MJ / kg)
<i>q_{p, net}</i>	Nedre brennverdi, netto brennverdi (kWh / kg eller MJ / kg)
<i>q_{p, net, ar}</i>	Effektiv brennverdi, netto brennverdi som mottatt (kWh / kg eller MJ / kg)

Andre symboler og forkortelser

m ³	kubikkmeter (1000 liter)
fm ³	fastkubikkmeter
lm ³	løskubikkmeter
ρ_{basis}	basisdensitet (kg tørrstoff / fm ³ ukrympet volum)
fm %	fastmasseprosent

VEDLEGG 2 – BEREGNING AV BRENNVERDI OG ENERGITETTHET

Beregning av fuktinnhold

$$M_{ar} = 100 \times \left(\frac{Råvekt - Tørrvekt}{Råvekt} \right)$$

Beregning av øvre og nedre brennverdi

Øvre brennverdi for ulike typer biomasse varierer fra 5 til 6,11 kWh / kg tørrstoff, hvor 5,7 vanligvis benyttes som tommelfingerregel. Øvre brennverdi måles vanligvis i et bombekalorimeter, men kan også beregnes ut fra brenselets kjemiske sammensetning. Øvre brennverdi er utgangspunktet når andre brennverdier skal beregnes.

Ved kjennskap til hydrogen og askeinhold (i prosent av tørrvekt) og fuktinnholdet (i prosent av råvekt) kan de forskjellige øvre og nedre brennverdier beregnes på råvekt eller tørrstoffbasis.

Beregning av øvre brennverdi på grunnlag av brenselets kjemiske sammensetning

Er brenselet kjemiske sammensetning kjent kan øvre brennverdi alternativt beregnes med følgende empiriske formel (Loo & Koppejan 2008):

$$q_{V,gr,d} = 0,09697 \cdot C + 0,32731 \cdot H + 0,02792 \cdot S - 0,00420 \cdot N - 0,02872 \cdot O - 0,00586 \cdot A_d$$

Hvor C, H, N, S og A_d er andelen av respektive grunnstoffer samt aske i vektprosent av tørt materiale og $q_{V,gr,d}$ er øvre brennverdi målt i kWh / kg tørrstoff.

Korrigerer for askeinhold

Korrigerer for askeinhold, øvre eller nedre brennverdi: $q_{x,d} = q_{x,daf} \cdot \frac{(100 - A_d)}{100}$

Beregning av øvre brennverdi for fuktig brensel

Øvre brennverdi, kWh / kg rått brensel: $q_{V,gr,ar} = q_{V,gr,d} \cdot \frac{(100 - M_{ar})}{100}$

Beregning av nedre brennverdi for tørt brensel

Nedre brennverdi, tørt brensel (Loo & Koppejan 2008), kWh / kg tørrstoff:

$$q_{p,net,d} = q_{V,gr,d} - \left(\frac{0,6789 \cdot 8,936 \cdot H_d}{100} \right)$$

Hvor

0,6789 er entalpiforskjellen (kWh / kg) mellom damp og vann ved 25°C,

8,936 er det molekylære masseforholdet mellom vann (H₂O) og hydrogen (H₂)

H_d er vekt- % hydrogen av tørt materiale

Beregning av effektiv brennverdi

Effektiv brennverdi pr *kg råvekt* (kWh / kg råvekt): $q_{p, net, ar} = \left(q_{p, net, d} \cdot \frac{(100 - M_{ar})}{100} \right) - \left(\frac{0,6789 \cdot M_{ar}}{100} \right)$

Effektiv brennverdi pr *kg tørrstoff* (kWh / kg tørrstoff): $q_{p, net, ar} = q_{p, net, d} - \left(0,6789 \cdot \frac{M_{ar}}{(100 - M_{ar})} \right)$

Beregning av energitetthet

Energitettheten gitt ved øvre brennverdi per fastkubikkmeter (kWh / fm³): $E_{gr, ar} = q_{gr, d} \cdot \rho_{basis}$

Energitettheten gitt ved effektiv brennverdi per fastkubikkmeter (kWh / fm³):

$$E_{net, ar} = \left(q_{p, net, d} - \left(0,6789 \cdot \frac{M_{ar}}{(100 - M_{ar})} \right) \right) \cdot \rho_{basis}$$

Energitetthet per løskubikkmeter (lm³). Formelen gjelder øvre, nedre og effektiv brennverdi:

Med utgangspunkt i brennverdi per kg tørrstoff, basisdensitet, og fastmasseprosent:

$$E_{x, x} = q_{x, x} \cdot \rho_{basis} \cdot fm\%$$

Med utgangspunkt i bulk tetthet og brennverdi per kg råvekt: $E_{x, x} = q_{x, x} \cdot BD$

LITTERATURLISTE

- Alakangas, E. (2005). Properties of wood fuels used in Finland – BIOOSOUTH -project. Project Report nr PRO2/P2030/05. VTT Process.
- CEN/TC-335 (2004). CEN/TS 14774–1 Solid biofuels – Methods for determination of moisture content – Oven dry method – Part 1: Total moisture – Reference method European Committee for Standardization.
- CEN/TC-335 (2005a). CEN/TS 14961: 2005. Solid Biofuels – Fuel specifications and classes. European Committee for Standardization.
- CEN/TC-335 (2005b). CEN/TS 15234 Solid Biofuels – Fuel quality assurance. European Committee for Standardization.
- CEN/TC-335 (2006). CEN/TS 15103 – Solid biofuels – Methods for the determination of bulk density European Committee for Standardization.
- ENOVA, S. (2008). Resultat- og aktivitetsrapport 2007 ENOVA SF.
- Hakkila, P. (1989). Utilization of Residual Forest Biomass, Springer Verlag.
- Hamilton, H., Ed. (1992). Praktisk Skogshandbok. Sveriges Skogsvårdsförbund. Djursholm.
- Imsen, S. & Winge H. (1999). Norsk Historisk Leksikon, Cappelen Akademisk forlag.
- Lahnstein, E. (2007). Nye politiske mål og rammebetingelser for biodrivstoff.
- Loo, S. V. & Koppejan J., Eds. (2008). The Handbook of Biomass Combustion and Co-Firing, Earthscan.
- McDonald, T. P., Stokes B. J. & McNeel J. F. (1995). Effect of Product Form, Compaction, Vibration and Comminution on Energywood Bulk Density. Proceedings of a Workshop on Preparation and Supply of High Quality Wood Fuels. Garpenberg, Sweden, IEA/BA Task IX.
- Nurmi, J. (1993). Heating values of the above ground biomass of small-sized trees. Acta Forestalia Fennica 236: 30.
- Nurmi, J. (2000). Characteristics and storage of whole-tree biomass for energy. Research Papers nr 758. Metla.
- Richardson, J., Björheden R., Hakkila P., Lowe A. T., et al. (2002). Bioenergy from Sustainable Forestry. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Sandberg, J. (1992). Vår Energi. En innføring i utvalgte emner., Universitetsforlaget.
- Sandland, K. M., Vadla K., Houen P. J., Kilde V., et al. (2002). Norsk trevirke som råstoff. (Norwegian timber as raw material). Rapport nr 52. Norsk Treteknisk Institutt.
- Strömberg, B. (2005). Bränslehandboken. Miljö och förbränningsteknik nr 911. Värmeforsk service AB.)

FORFATTERINSTRUKS

VITEN FRA SKOG OG LANDSKAP

Definer målgruppen og ha dem i fokus under hele skriveprosessen. Husk å få fram bruker- og samfunnsnytt.

NORMAL INNDELING

- Forord
- Sammendrag
- Innledning/bakgrunn
- Materiale og metode
- Resultat
- Analyse og diskusjon
- Konklusjon/etterord
- Litteraturliste

Manus skrives fra Word-mal definert for Skog og landskap.

Alle tabeller og talloppsett skrives med tabell-funksjon i Word. Husk å ikke bruke tabulator.

Figurer gjøres helt ferdig. Husk å velge en størrelse på bokstavene så de beholder sin lesbarhet når de gjøres mindre. Kontakt kommunikasjonsstaben i Skog og landskap om du trenger hjelp.

Manuskriptet leveres ansvarlig seksjonsleder for faglig godkjenning. Deretter leveres det til kommunikasjonsstaben for videre ferdigstilling.

NORSK INSTITUTT FOR
SKOG OG LANDSKAP

adr.: Pb 115
NO-1431 Ås

tlf.: +47 64 94 80 00
faks: +47 64 94 80 01

nett: www.skogoglandskap.no

REGIONKONTOR
NORD-NORGE

adr.: Skogbrukets hus
NO-9325 Bardufoss

REGIONKONTOR
MIDT-NORGE

adr.: Statens hus
NO-7734 Steinkjer

REGIONKONTOR
VEST-NORGE

adr.: Fanaflaten 4
NO-5244 Fana

NORSK
GENRESSURSSENTER

adr.: Pb 115
NO-1431 Ås

